

ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF

کاظم صابر چناری^{۱*}، حسین سلمانی^۱، مجتبی محمدی^۲

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. عضو هیات علمی گروه احیای مناطق خشک و بیابانی، مجتمع آموزش عالی سراوان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۳/۲۵)

چکیده

هدف این مطالعه، ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز زیارت استان گلستان با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و Landslide nominal risk factor (LNRF) در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. در گام اول با استفاده از گزارش‌های موجود و تفسیر عکس‌های هوایی، نقشه پراکنش نقاط لغزشی منطقه تحقیق تهیه شد. ۷۰ درصد کل نقاط لغزشی (۳۵ نقطه) برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و ۳۰ درصد (۱۵ نقطه) برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شد. در گام دوم ۱۴ عامل مؤثر بر زمین لغزش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به کار گرفته شد. این عوامل شامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای سطح، خطوط هم‌باران، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بافت خاک، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت‌پذیری توپوگرافیکی، شاخص حمل رسوب، و شاخص قدرت رودخانه‌اند. سپس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF تهیه شد. سرانجام برای ارزیابی مدل‌ها از منحنی ROC و سطح زیرمنحنی (AUC) استفاده شد. نتایج ارزیابی، منحنی ROC و انحراف معیار آن را برای مدل ارزش اطلاعات معادل ۹۸/۲ درصد و ۰/۰۱۸ و برای مدل LNRF ۸۰/۴ درصد و ۰/۰۸ نشان داد. از این رو، نقشه خطر زمین لغزش تهیه شده برای منطقه تحقیق می‌تواند برای برنامه‌ریزان و مهندسان در شناسایی مناطق مستعد خطر زمین لغزش و معرفی راهکارهای مناسب برای کاهش و مدیریت خطر مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزش اطلاعات، خطر زمین لغزش، زیارت، LNRF.

مقدمه

حرکت‌های توده‌ای عبارتند از: جابه‌جایی حجم زیادی از توده‌های خاک، سنگ یا ترکیبی از آنها به طرف پایین در اثر نیروی ثقل [۱۳]. این پدیده از جمله بلایای طبیعی است که همه‌ساله زیان‌های جانی و مالی بسیاری را در کشورهای مختلف در پی دارد. این پدیده طبیعی می‌تواند سبب تخریب سازه‌های مهندسی ساخت بشر از جمله مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی همچون راه‌ها و خطوط انتقال نیرو، و نیز جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی شود [۶]. از جمله خسارت‌های مهم زمین‌لغزش می‌توان به فاجعه دهن شدن روستای فتلک در خرداد ۱۳۶۹ در رودبار و زمین‌لغزش‌های سال ۱۳۷۳ ناشی از بارندگی‌های شدید در استان گیلان با ۶ کشته و تخریب ۱۶ واحد مسکونی [۱۲] اشاره کرد. مهم‌ترین مرحله ارزیابی و تعیین خطر زمین‌لغزش، شناسایی و بررسی زمین‌لغزش‌های به‌وقوع‌پیوسته و بررسی عوامل ایجادکننده آنهاست [۹]. با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، می‌توان مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی و درباره برنامه‌های مورد نظر تصمیم‌گیری کرد. مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش معرفی شده است که کارایی هر کدام از آنها در مناطق مختلف، متفاوت است. در این تحقیق به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیارت‌گران، از مدل‌های ارزش‌اطلاعات و LNRNF استفاده شده است. از مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز سد ایلام با پنج روش ارزش‌اطلاعاتی، تراکم سطح، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، LNRNF و نسبت فراوانی اشاره کرد. در ابتدا پس از بررسی‌های میدانی در حوضه سد ایلام، ۹ عامل مؤثر شامل شیب دامنه، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی، عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند. نقشه این ۹ عامل در محیط GIS با استفاده از نرم افزار Arcview تهیه شد و لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها بر روی هر کدام از این لایه‌ها انداخته و همپوشانی شد تا تأثیر طبقات مربوط به عوامل مختلف مشخص شود. نتایج نشان داد که روش ارزش‌اطلاعاتی نسبت به دیگر روش‌ها در تفکیک طبقات خطر نتایج بهتری داشته است [۱۱].

کریمی و همکاران [۱۰] پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام را با روش‌های ارزش‌اطلاعاتی، تحلیل سلسله‌مراتبی، تراکم سطح و LNRNF انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل ارزش‌اطلاعاتی در تفکیک کلاسه‌های خطر نتایج بهتری دارد. جوادی و همکاران [۳] کارایی دو روش آماری ارزش‌اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک را در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در زیرحوضه آبخیز پهنه‌کلا در جنوب شهرستان ساری ارزیابی کردند. نتایج نشان داد با بهره‌گیری از مدل ارزش‌اطلاعاتی ۷۲/۱۲ درصد و با مدل رگرسیون لجستیک ۶۵/۵۶ درصد از لغزش‌های رخ داده در کلاسه‌های پرخطر و خیلی پرخطر واقع شده‌اند. همچنین می‌توان به مطالعات زمین‌لغزش در منطقه رودبار [۱]، حوضه آبخیز هزار [۲۷]، حوضه آبخیز واز [۵] و منطقه سمیرم [۸] اشاره کرد. فانو [۱۸] نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش ارزش‌اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگن در استان گانسو چین تهیه کرد. نتایج نشان داد که روش ارزش‌اطلاعاتی، مکان‌های با زمین‌لغزش فعال را بهتر نشان می‌دهد. یالسین [۳۲] نقشه حساسیت زمین‌لغزش را در حوضه آردیس ترکیه با سه روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، فاکتور وزنی (Wf) و شاخص آماری (Wi) تهیه کرد و برای ارزیابی، از سه نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده از زمین‌لغزش‌های فعال منطقه استفاده کرد. نتایج نشان داد که ۸۱/۳ درصد لغزش‌های فعال در روش AHP و ۶۲/۵ درصد لغزش‌های فعال در روش شاخص آماری (Wi) و ۶۸/۸ درصد با روش فاکتور وزنی (Wf)، پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد رخ داده‌اند. از دیگر تحقیقات درباره زمین‌لغزش در خارج از کشور می‌توان به مطالعات حرکات توده‌ای رخ داده در طی توفان سال ۲۰۰۴ نیوزیلند [۱۶] و منطقه وانگانوبی این کشور [۱۷]، جنوب غربی آلمان [۲۵]، چین [۲۲] و منطقه هولو کالنگ مالزی [۲۹] اشاره کرد. شناسایی نواحی مستعد زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی خطر با مدل‌های مناسب، یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر است. هدف از این مطالعه ارزیابی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز زیارت‌گران با استفاده از دو مدل ارزش‌اطلاعاتی و LNRNF و بررسی اثرهای ۱۴ شاخص زمینه‌ساز و محرک زمین‌لغزش است.

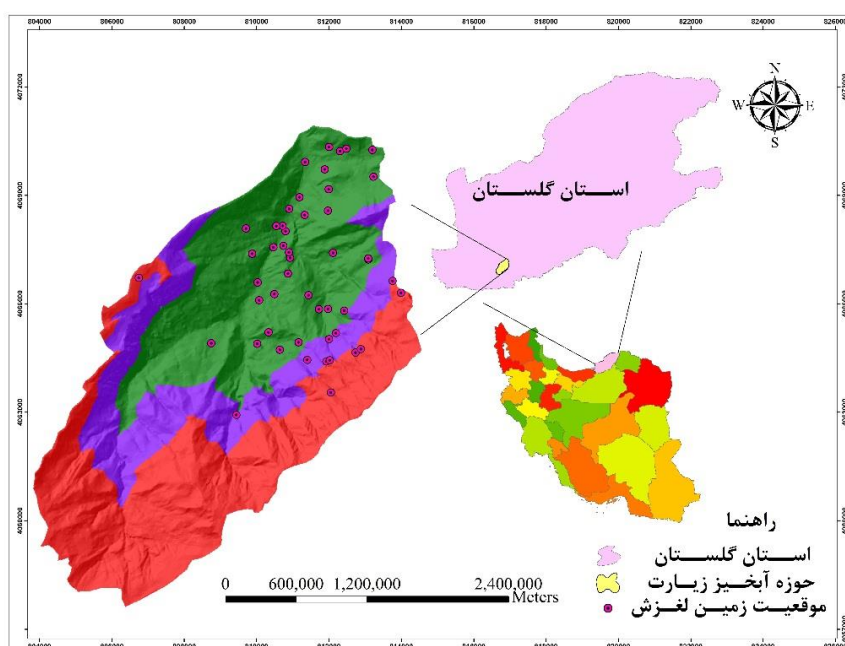
مواد و روش‌ها

روش تحقیق

با استفاده از بازدید میدانی و گزارش‌های موجود و نیز براساس نقشه پراکنش زمین لغزش (تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید میدانی توسط اداره آبخیزداری استان گلستان سال ۱۳۸۶) نقاط لغزشی حوضه ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGis شد [۲۶] (شکل ۱). نقشه‌های ۱۴ عامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش شامل کاربری اراضی، بافت خاک، زمین‌شناسی، هم‌باران، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص حمل رسوب (STI)، شاخص قدرت رودخانه (SPI)، انحنا سطح و شاخص رطوبت توپوگرافیکی (TWI) براساس لایه‌های اطلاعاتی اخذ شده از سازمان منابع طبیعی گلستان در محیط GIS تهیه و براساس مطالعات گذشته طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد نقشه هر یک از عوامل مؤثر در محیط GIS با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تلفیق شد و تعداد لغزش در هر طبقه به دست آمد. به منظور تعیین نقشه‌های شاخص توان آبراهه (SPI)، شاخص حمل رسوب (STI) و شاخص رطوبت‌پذیری توپوگرافیکی (TWI) از رابطه‌های ۱ تا ۳ استفاده شد [۲۴، ۲۳، ۲۱].

منطقه تحقیق

حوضه آبخیز زیارت در جنوب شهرستان گرگان در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۸ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه و ۱۱ ثانیه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۳ ثانیه طول شرقی واقع شده است. این حوضه از غرب به حوضه آبخیز شصت کلاته، از شرق به حوضه آبخیز چهارباغ، از جنوب به ارتفاعات لره کوه و از شمال به رودخانه قره‌سو محدود می‌شود. مساحت کل حوضه در حدود ۷۸۰۰ هکتار است. پایین‌ترین نقطه آن ۶۴۸ متر و بالاترین نقطه آن ۲۹۱۰ متر ارتفاع دارد. متوسط بارندگی سالانه حوضه آبخیز زیارت ۵۷۵ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه ۵/۷ درجه سانتی‌گراد است. سازندهای زمین‌شناسی حوضه زیارت شامل سازند خوش‌بیلاق، لار، مبارک، شمشک و شیست گرگان است و بخش عمده حوضه کوهستانی است. کاربری‌های اراضی منطقه به ترتیب مساحت شامل جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی است. گونه‌های جنگلی شامل توسکا، ممرز، بلوط، راش، انجیلی و نمدار و درختچه ژونیپروس، و گونه‌های مرتعی بروموس ساختار پوشش گیاهی منطقه را تشکیل داده است (شکل ۱) [۴].



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق

به تراکم لغزش‌های کل نقشه می‌پردازد [۱۸]. بدین منظور پس از تعیین درصد پیکسل‌های لغزشی در کلاسه‌های مختلف، کمی کردن عوامل مؤثر و وزن‌دهی به طبقات براساس مدل ارزش اطلاعاتی با استفاده از رابطه ۵ انجام گرفت.

$$WINF = LN \left[\frac{A}{\frac{B}{\frac{C}{D}}} \right] \quad (5)$$

که در آن Winf: نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل، A: تعداد پیکسل‌های لغزشی در طبقه؛ B: کل پیکسل‌های آن طبقه، C: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی منطقه، و D: تعداد کل پیکسل‌های منطقه است. سپس با نرم افزار ArcGis همه نقشه‌های وزنی با هم جمع شد و نقشه پهنه‌بندی نهایی چندین طبقه خطر به دست آمد [۵].

ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده کرد که در پهنه‌بندی به کار گرفته شده‌اند [۲۰]، از بین ۵۰ نقطه لغزشی، چند نقطه برای مدلسازی و بخشی نیز برای ارزیابی (با نسبت ۷۰ به ۳۰) استفاده شدند [۱۵]. سپس با استفاده از منحنی ROC [۲۸، ۲۴] صحت نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده ارزیابی شد. این منحنی کارآمدترین روش برای معرفی خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند [۳۱]. سطح زیرمنحنی ROC (AUC)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است. برای رسم ROC، قبل از کلاسه‌بندی نقشه وزن نهایی، نقاط لغزشی را که برای ارزیابی در نظر گرفته شده بود، روی نقشه می‌اندازیم و وزن به دست آمده در هر نقطه لغزشی را یادداشت می‌کنیم. به همین تعداد نیز نقاطی را به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب و وزن آن‌ها را نیز یادداشت می‌کنیم. براساس روابط موجود برای روش ROC وزن‌های به دست آمده استاندارد شده و وزن نقاط لغزشی را به عنوان وزن‌های صحیح در محور عمودی، و وزن بقیه نقاط را که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند در محور افقی وارد می‌کنیم. سطح زیرمنحنی که به دست می‌آید بیانگر دقت مدل است.

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (1)$$

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (2)$$

$$LS = \left(\frac{A_s}{22/13} \right)^{-6} \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1/3} \quad (3)$$

که A_s : مساحت حوضه آبخیز، β : گرادیان شیب بر حسب درجه و STI بیانگر شاخص حمل رسوب یا به عبارتی عامل طول شیب (LS) مدل AUSLE است که مدل مذکور اصلاح شده معادله جهانی تلفات خاک (USLE) است.

مدل LNRF

این روش به مدل گوپتا و جوشی معروف است و توسط آن دو ارائه شد [۱۴]. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از مطالعات میدانی و نیز بررسی متغیرهای مؤثر، از مدل LNRF به عنوان مهم‌ترین ابزار مفهومی تحقیق استفاده شده است. روش کار، رقومی کردن و لایه‌بندی متغیرها در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بوده است. در این مرحله نقشه‌های عوامل لیتولوژی، شیب و نظایر آن با نقشه پراکنش زمین لغزش تطبیق داده می‌شود و با استفاده از رابطه LNRF (رابطه ۴)، وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی ساخته می‌شود. به منظور تعیین وزن هر پارامتر ابتدا تعداد زمین لغزش در هر واحد بر میانگین تعداد کل واحدهای آن نقشه تقسیم و شاخص یادشده تعیین می‌شود و از جمع جبری نقشه‌های یادشده پهنه‌بندی انجام می‌گیرد.

$$LNRF = \frac{\text{لغزش رخ داده در یک واحد از نقشه عامل}}{\text{میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه عامل}} \quad (4)$$

با توجه به رابطه ۴، وزن هر یک از طبقات عوامل مختلف از جدول ۱ به دست می‌آید.

جدول ۱. وزن مربوط به مدل LNRF

ردیف	مقدار LNRF	وزن (weight)
۱	$LNRF < 1$	۰
۲	$1 < LNRF < 2$	۱
۳	$LNRF > 2$	۲

مدل ارزش اطلاعات

روش ارزش اطلاعاتی معیاری برای تعیین تراکم لغزش‌هاست که براساس لگاریتم طبیعی (Ln) تراکم لغزش‌ها در هر کلاس

نتایج و بحث

پس از محاسبه وزن‌ها و ترکیب آنها نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با بهره‌گیری از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF به دست آمد که براساس شکستگی‌های طبیعی (Natural Breaks) در پنج طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد (شکل‌های ۲ و ۳).

نقشه پراکنش لغزش‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تأثیر گذار بر رخداد زمین لغزش تلفیق شد و تراکم لغزش‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیرگذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاسه‌ها با مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF به دست آمد. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر حاصل از ارتباط عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها

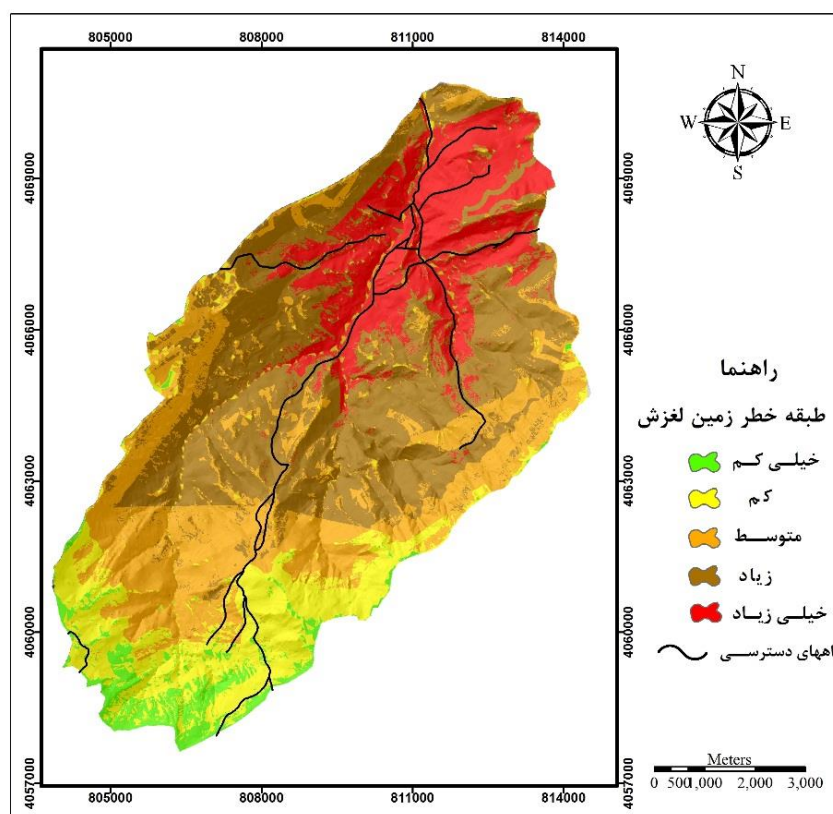
عامل	طبقه	پیکسل‌های لغزشی		ارزش اطلاعات	LNRF	
		مقدار	درصد		نرخ	وزن
سنگ‌شناسی	روته	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	کرتاسه بالایی	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	خوش‌بیلاق	۶	۱۷/۱۴	-۰/۵۳	۱/۵۴	۱
	درود	۳	۸/۵۷	-۰/۲۲	۰/۷۷	۰
	شمشک	۸	۲۲/۸۶	-۰/۰۶	۲/۰۶	۲
	لار	۱	۲/۸۶	-۱/۱۳	۰/۲۶	۰
	نهشته‌های آبرفتی	۴	۱۱/۴۳	۱/۸۵	۱/۰۳	۱
	گابروی دگرگون شده	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	مبارک	۱۳	۳۷/۱۴	۰/۸۶	۳/۳۴	۲
کاربری اراضی	جنگل ضعیف	۹	۲۵/۷۱	۰/۲۳	۱/۸	۱
	جنگل متوسط	۱	۲/۸۳	-۰/۸۹	۰/۲	۰
	جنگل انبوه	۱۸	۵۱/۴۳	۰/۱۵	۳/۶	۲
	زراعت آبی	۵	۱۴/۲۹	۰/۷۹	۱	۱
	زراعت دیم	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	مناطق مسکونی	۲	۵/۷۱	۲/۱۴	۰/۴	۰
	مرتع	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۱
فاصله از رودخانه (متر)	<۱۰۰	۲۴	۶۸/۵۷	۰/۰۷	۳/۴۳	۲
	۱۰۰-۲۰۰	۹	۲۵/۷۱	۰/۰۹	۱/۲۹	۱
	۲۰۰-۳۰۰	۱	۲/۸۶	-۱/۰۵	۰/۱۴	۰
	۳۰۰-۴۰۰	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	>۴۰۰	۱	۲/۸۶	۰/۷۹	۰/۱۴	۰
بافت خاک	لای-لوم	۲	۵/۷۱	-۰/۲	۰/۲۳	۰
	لای-رس-لوم	۱۱	۳۱/۴۳	۰/۹۶	۱/۲۶	۱
	لومی-رسی	۹	۲۵/۷۱	-۰/۴۴	۱/۰۳	۱
	شنی-لومی	۱۳	۳۷/۱۴	-۰/۰۹	۱/۴۹	۱
درصد شیب	۰-۱۵	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	۱۵-۳۰	۷	۲۰	۰/۳۴	۱	۱
	۳۰-۴۵	۷	۲۰	-۰/۱۵	۱	۱
	۴۵-۶۰	۷	۲۰	-۰/۱۲	۱	۱

ادامه جدول ۲. مقادیر حاصل از ارتباط عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها

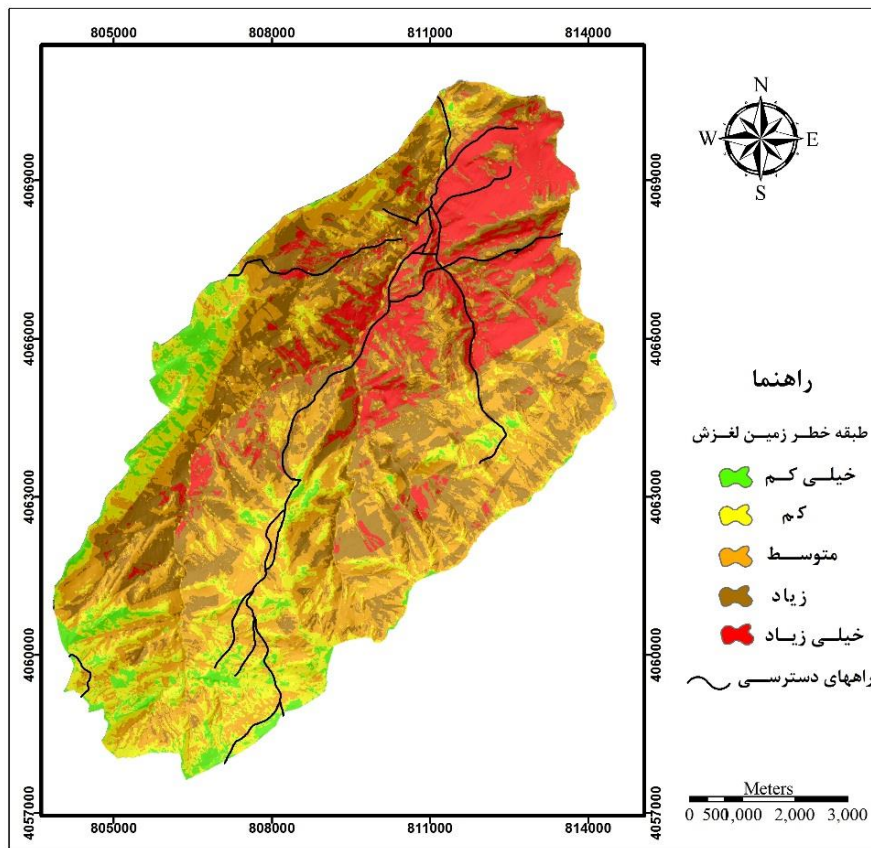
عامل	طبقه	پیکسل‌های لغزشی		ارزش اطلاعات	LNRF	
		مقدار	درصد		نرخ	وزن
درصد شیب	>۶۰	۱۴	۴۰	۰/۱۱	۲	۱
	صاف	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	شمال	۲	۵/۷۱	-۱/۱۱	۰/۵۱	۰
	شمال شرقی	۵	۱۴/۲۹	۰/۳۱	۱/۲۹	۱
	شرق	۵	۱۴/۲۹	۰/۱	۱/۲۹	۱
	جنوب شرقی	۲	۵/۷۱	-۰/۶۸	۰/۵۱	۰
	جنوب شرقی	۱	۲/۸۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰
	جنوب غربی	۳	۸/۵۷	۰/۵۸	۰/۷۷	۰
	غرب	۴	۱۱/۴۳	-۰/۱۳	۱/۰۳	۱
انحنای	شمال غربی	۱۳	۳۷/۱۴	۰/۴	۳/۳۴	۲
	مقعر	۲۰	۵۷/۱۴	۰/۲۹	۱/۷۱	۱
	صاف	۳	۸/۵۷	-۰/۲۶	۰/۲۶	۰
شاخص رطوبت پذیری	محدب	۱۲	۳۴/۲۹	-۰/۲۹	۱/۰۳	۱
	>۸	۱۴	۴۰	-۰/۰۱	۱/۲	۱
	۸-۱۲	۱۹	۵۴/۲۹	۰/۰۲	۱/۶۳	۱
ارتفاع (متر)	>۱۲	۲	۵/۷۱	-۰/۱	۰/۱۷	۰
	۶۴۸-۱۲۱۴/۲۵	۱۸	۵۱/۴۳	۱/۰۵	۲/۵۷	۲
	۱۲۱۴/۲۵-۱۶۰۲/۷۷	۷	۲۰	-۰/۰۹	۱	۱
	۱۶۰۲/۷۷-۲۰۰۰/۲۵	۶	۱۷/۱۴	-۰/۲	۰/۸۶	۰
	۲۰۰۰/۲۵-۲۳۸۸/۸۸	۴	۱۱/۴۳	-۰/۵۸	۰/۵۷	۰
	۲۳۸۸/۸۸-۲۹۱۰	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
فاصله از گسل (متر)	<۱۰۰	۷	۲۰	۰/۳۶	۱	۱
	۱۰۰-۲۰۰	۴	۱۱/۴۳	-۰/۱۲	۰/۵۷	۰
	۲۰۰-۳۰۰	۱	۲/۸۶	-۱/۳۲	۰/۱۴	۰
	۳۰۰-۴۰۰	۱	۲/۸۶	-۱/۱۸	۰/۱۴	۰
	>۴۰۰	۲۲	۶۲/۸۶	۰/۱۷	۳/۱۴	۲
شاخص قدرت رودخانه	۰-۳۰۰	۱	۲/۸۶	-۱/۶۷	۰/۱۴	۰
	۳۰۰-۶۰۰	۶	۱۷/۱۴	۰/۱۲	۰/۸۶	۰
	۶۰۰-۹۰۰	۷	۲۰	۰/۴۴	۱	۱
	>۹۰۰	۲۱	۶۰	۰/۰۶	۳	۲
طول شیب (متر)	۰-۲۵	۱	۲/۸۶	-۱/۲۳	۰/۱۱	۰
	۲۵-۵۰	۷	۲۰	۰/۰۳	۰/۸	۰
	۵۰-۷۵	۱۱	۳۱/۴۳	۰/۳	۱/۲۶	۱
	>۷۵	۱۶	۴۵/۷۱	-۰/۰۴	۱/۸۳	۱
خطوط هم‌باران (میلی‌متر)	۳۵۰>	۰	۰	-۳/۸۱	۰	۰
	۳۵۰-۴۵۰	۳	۸/۵۷	-۰/۸۷	۰/۴۳	۰

ادامه جدول ۲. مقادیر حاصل از ارتباط عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها

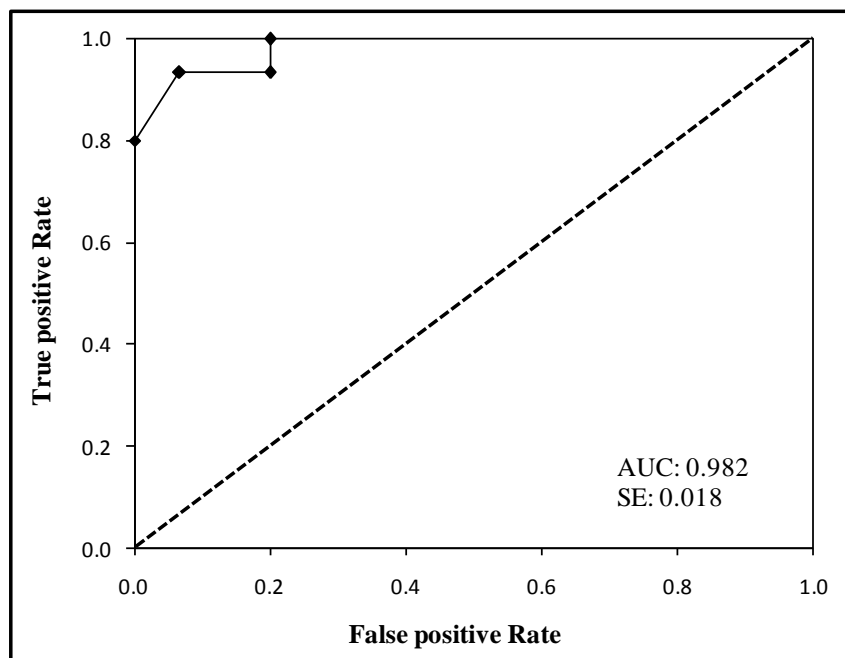
عامل	طبقه	پیکسل‌های لغزشی		ارزش اطلاعات	LNRF	
		مقدار	درصد		نرخ	وزن
	۴۵۰-۵۵۰	۱۳	۳۷/۱۴	۰/۴۳	۱/۸۶	۱
	۵۵۰-۶۵۰	۱۸	۵۱/۴۳	۰/۹۳	۲/۵۷	۲
	۶۵۰-۷۵۰	۱	۲/۸۶	-۰/۶۹	۰/۱۴	۰
	>۱۰۰	۱۲	۳۴/۲۹	۱/۲۸	۱/۷۱	۱
	۱۰۰-۲۰۰	۱۲	۳۴/۲۹	۰/۶۹	۰/۸۶	۰
فاصله از جاده (متر)	۲۰۰-۳۰۰	۶	۱۷/۱۴	۰/۶۴	۰/۷۱	۰
	۳۰۰-۴۰۰	۵	۱۴/۲۹	۰/۲	۰/۴۳	۰
	>۴۰۰	۳	۸/۵۷	-۰/۹۶	۱/۲۹	۱



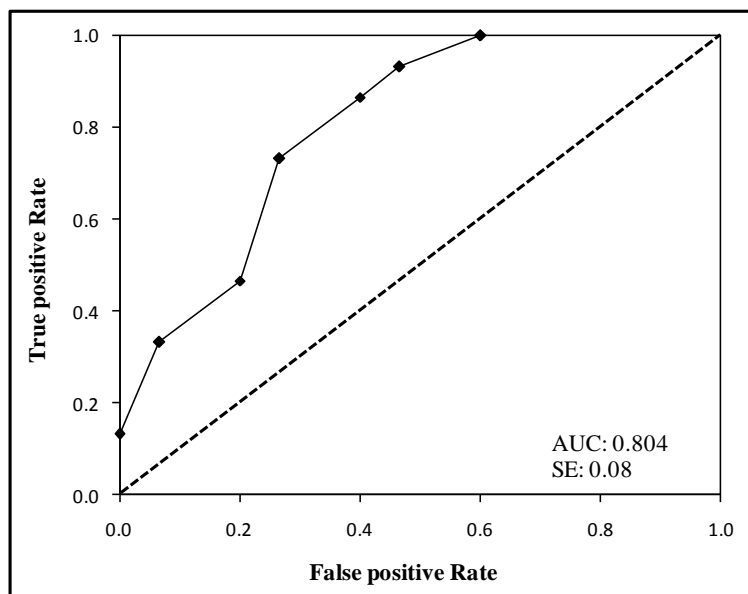
شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز زیارت با استفاده از مدل ارزش اطلاعات



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز زیارت با استفاده از مدل LNRF



شکل ۴. منحنی ROC و سطح زیرمنحنی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل ارزش اطلاعات



شکل ۵. منحنی ROC و سطح زیرمنحنی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل LNRF

بهره‌برداری نامناسب استفاده می‌شود مناطق مستعد زمین‌لغزش را فراهم می‌آورند. مناطق با فاصله کم از آبراهه و جاده دارای بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش‌اند. در برخی تحقیقات [۲۲، ۲۳، ۲۴] نیز به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. با توجه به اینکه این فاکتورها از عوامل محرک زمین‌لغزش محسوب می‌شوند، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد. احداث جاده به‌طور معمول همراه با خاک‌برداری و خاک‌ریزی است و تعادل طبیعی منطقه را بهم می‌زند. آبراهه‌ها نیز موجب زیرشویی می‌شوند و خطر زمین‌لغزش را افزایش می‌دهند. بررسی ارتفاع از سطح دریا نشان می‌دهد که ارتفاع ۶۴۸-۱۲۱۴/۲۵ متر بیشترین لغزش را دارد. افزایش ارتفاع سبب کاهش لغزش شده است که ممکن است به دلیل بارش‌های برفی در بالادست و همچنین در امان بودن از دخالت انسان باشد. این نتایج با یافته‌های پورقاسمی [۲] همخوانی دارد. همچنین بیشترین لغزش‌ها در محدوده بارش ۶۵۰-۵۵۰ میلی‌متر مشاهده شد که با نتایج مطالعات زارع و همکاران [۵] مطابقت می‌کند. بررسی‌ها در زمینه بافت خاک نشان داد که بیشترین لغزش‌ها در خاک‌های لای-رسی-لومی و رسی-لومی اتفاق افتاده است که دلیل آن را می‌توان با جذب آب بیشتر و آب‌گذری کمتر خاک‌های با بافت متوسط و ریز، در نتیجه اشباع راحت‌تر این خاک‌ها مرتبط دانست. دامنه‌های شمال غربی بیشترین حساسیت را به لغزش نشان می‌دهد. این

همان‌طور که بیان شد برای ارزیابی مدل‌ها از منحنی ROC استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی دسته‌بندی ۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۶-۰/۵، ضعیف، را برای آن ارائه کرده‌اند [۲۴]. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مقدار سطح زیرمنحنی برای مدل ارزش اطلاعات (۰/۹۸۲) بیشتر از مدل LNRF (۰/۸۰۴) است؛ درحالی که مقدار انحراف معیار مدل ارزش اطلاعات (۰/۰۱۸) کمتر از مدل LNRF است (شکل‌های ۴ و ۵). با توجه منحنی ROC به‌دست‌آمده مدل ارزش اطلاعات دارای دقت عالی است و مدل LNRF دقت خیلی خوبی دارد. بنابراین مدل ارزش اطلاعات دارای کارایی بهتری نسبت به مدل LNRF در منطقه است که با نتایج مطالعات [۱۱، ۱۰، ۳] همخوانی دارد.

در بررسی عوامل تأثیرگذار بر زمین‌لغزش نتایج نشان داد که از بین سازندهای زمین‌شناسی، سازند مبارک بیشترین حساسیت را به زمین‌لغزش دارد. طبقه جنگل و زراعت دارای بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌اند که با نتایج برخی مطالعات [۷، ۱] همخوانی دارد. کاربری زراعت به دلیل دخالت‌های انسان در محیط و همچنین آبیاری تأثیر مهمی در وقوع زمین‌لغزش دارد. کاربری‌های جنگل نیز با توجه به شیب زیادی که دارند در مناطقی که روش‌های

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه تحقیق با استفاده از دو مدل مذکور تهیه شد. ارزیابی نتایج با استفاده از منحنی ROC نشان داد که مدل ارزش اطلاعات کارایی بهتری نسبت به مدل LNRF در شناسایی مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش دارد. منطقه تحقیق در مجموع پتانسیل زیادی برای وقوع زمین‌لغزش دارد و این پدیده همواره ساکنان منطقه، مسافران، زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند. برای کنترل زمین‌لغزش قبل از هر کاری باید این پدیده را مطالعه و مناطق مستعد آن را شناسایی کنیم. از این رو پهنه‌بندی زمین‌لغزش اولین گام در مدیریت و کاهش خسارات این پدیده است.

منابع

- [۱]. اشقلی فراهانی، عقیل؛ تشنه‌لب، محمد؛ غیومیان، جعفر؛ فاطمی عقدا، سید محمود، ۱۳۸۴، بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۱(۱): ۶۴-۴۳.
- [۲]. پورقاسمی، حمیدرضا، ۱۳۸۶، ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۹۲ ص.
- [۳]. جوادی، محمدرضا؛ صدیقی، محمد؛ غلامی، شعبانعلی، ۱۳۹۲، ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در زیرحوزه پهنه‌کلا. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۸(۱): ۱۶۲-۱۵۳.
- [۴]. رحیمی‌نسب، علی‌اصغر؛ عبقری، هیراد؛ عرفانیان، مهدی؛ ندیری، عطاالله، ۱۳۹۱، بررسی و تحلیل مدل هیبرید AHP و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۵): ۱۱-۱.
- [۵]. زارع، محمد؛ احمدی، حسن؛ شبانعلی، غلامی، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز واز)، مجله علوم مهندسی و آبخیزداری ایران ۵(۱۷): ۲۲-۱۵.

موضوع ناشی از آن است که این دامنه‌ها به دلیل زاویه و مدت کمتر تابش خورشیدی در نیمکره شمالی دارای بیشترین رطوبت خواهند بود؛ بنابراین شرایط بهتری برای رخداد زمین‌لغزش در این دامنه‌ها وجود خواهد داشت که با نتایج تحقیق شیرانی و سیف [۸] همخوانی دارد. مناطق با مقادیر بالای SPI، TWI، STI و شکل انحنای مقعر بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش را از خود نشان می‌دهند. این نتایج با یافته‌های پیشین [۳۰، ۲۹، ۲۷، ۲۶] همخوانی دارد. به طور کلی دامنه محدب با ثبات تر است، زیرا پخش رواناب به سمت پایین دست شیب دامنه متعادل انجام می‌گیرد، در حالی که دامنه مقعر به علت تمرکز آب در پایین‌ترین نقطه شیب و کمک در ایجاد فشار هیدرواستاتیک ناپایدارتر است. هر چه مقدار این SPI بیشتر باشد تعداد لغزش‌های بیشتری در منطقه ایجاد می‌شود؛ از این رو در مناطق پرشیب و اطراف رودخانه‌های اصلی لغزش‌های بیشتری دیده شده است که اثر این عامل را به خوبی نشان می‌دهد. همچنین با افزایش LS رطوبت بیشتری در پایین دامنه تجمع می‌یابد که زمینه را برای زمین‌لغزش فراهم می‌کند. TWI در حقیقت نشان‌دهنده رطوبت خاک و جریان‌های آب زیرزمینی است. مناطقی که TWI بیشتری دارند رطوبت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند بنابراین حساسیت آنها به زمین‌لغزش بیشتر است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کارایی دو مدل ارزش اطلاعات و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز زیارت در محیط GIS با استفاده از ۱۴ پارامتر مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش ارزیابی شد. به این منظور نقشه ۱۴ عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شامل کاربری اراضی، بافت خاک، زمین‌شناسی، هم‌باران، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص حمل رسوب (STI)، شاخص قدرت رودخانه (SPI)، انحنای سطح و شاخص رطوبت توپوگرافیکی (TWI) در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی شد. نقشه پراکنش لغزش‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تأثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش تلفیق شد و تراکم لغزش‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیرگذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاس‌ها تعیین و با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF با یکدیگر ترکیب شد. در نهایت نقشه

- خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز تلخاب ایلام، پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۲: ۱۰۳-۹۵.
- [15]. Constantin, M. et al., 2010, Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania), *Environmental Earth Science*, 63:397-406.
- [16]. Duman, TY. et al., 2006, Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, 51: 241-256.
- [17]. Dymond, JR. et al., 2006, Validation of a region wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui Region of New Zealand. *Geomorphology*, 74: 70-79.
- [18]. Fanyu liu, Z, 2007. Study on landslide susceptibility mapping based GIS and with bivariate statistics", a Case Study in Longnan Area Highway 212, Science paperonline.
- [19]. Gupta, R. P. and Joshi. B. C, 1990, Landslide Hazard Zoning using the GIS Approach a Case study from the Ramang Catchment Himalayas, *Engineering Geology*, 28: 119-131.
- [20]. Komac, M. A, 2006, Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. *Geomorphology*, 74: 17-28.
- [21]. Lee, S. et al., 2012, Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea, 100: 15-30.
- [22]. Lee, S, 2007, Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52: 615-623.
- [23]. Moore, I. D. and Wilson, J.P, 1992, Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *J Soil Water Conserv*, 47:423-428.
- [24]. Nefeslioglu, H.A. et al., 2008, Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), *Geomorphology*, 94: 401-418.
- [۶]. سوری، سلمان، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوزه کسمت)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، ۹(۲): ۱۱۰-۱۰۱.
- [۷]. شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی، ۱۳۸۶، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRF، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۰(۱): ۲۳-۱۱.
- [۸]. شیرانی، کورش؛ سیف، عبدالله، ۱۳۹۰، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون شهر)، مجله علوم زمین، ۲۲(۸۵): ۱۵۸-۱۴۹.
- [۹]. عنایتی‌مقدم، علیرضا؛ قاضی فرد، اکبر؛ صفایی، همایون؛ شیرانی، کورش، ۱۳۹۰، ارزیابی عوامل و ارائه راهکار جهت تثبیت زمین لغزش در منطقه پادناهی سمیرم، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان، ۷(۱): ۵۲-۴۱.
- [۱۰]. کریمی، حاجی؛ نادری، فتح‌الله؛ مرشدی، ابراهیم؛ نیک‌سرشت، مهدی، ۱۳۹۰، پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، ۴(۷): ۳۳۲-۳۱۹.
- [۱۱]. گرایبی پرویز؛ کریمی حاجی، ۱۳۸۹، تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سد ایلام، تحقیقات جغرافیایی، ۱(۲۵): ۱۲۸-۱۰۱.
- [۱۲]. مرتضوی چمچالی، منوچهر؛ حق‌نظر، شهروز، ۱۳۸۸، بررسی خطر حرکات دامنه‌ای و زمین‌شناسی مهندسی روستای دولت‌آباد در شمال شرق رودبار، فصلنامه تخصصی زمین و منابع، ۱(۲): ۱۰۳-۸۷.
- [۱۳]. مقیمی، ابراهیم؛ علوی پناه، سید کاظم؛ جعفری، تیمور، ۱۳۸۷، ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ، پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰(۶۴): ۷۵-۵۳.
- [۱۴]. نادری، فتح‌الله؛ کریمی، حاجی، ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی دو روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا و جوشی در پهنه‌بندی

- [25]. Neuhauser, B. and Terhorst, B, 2007, Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany), *Geomorphology*, 86: 12-24.
- [26]. Pourghasemi, H.R. et al., 2012, Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, *Nat Hazards*, 63:965–996.
- [27]. Pourghasemi, H. R. et al., 2013, Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province, Iran, *Journal of Earth System Science*, 122(2): 349-369.
- [28]. Regmi, N. R. et al., 2010, Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115: 172–187.
- [29]. Saadatkah, N. et al., 2014, Qualitative and Quantitative Landslide Susceptibility Assessments in Hulu Kelang area, Malaysia, *EGJE journal*, 19:545-563.
- [30]. Stocking, M. A, 1972, Relief analysis and soil erosion in Rhodesia using multivariate techniques. In: *Zetschr. f. Geomorphologie*, 16: 432–443.
- [31]. Swets, J. A, 1988, Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*. 240:1285-1293.
- [32]. Yalcin, A, 2008, GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72: 1–12.